

EVALUASI TERHADAP SAMPEL IRADIASI DALAM KESELAMATAN OPERASI RSG-GAS

Jaja Sukmana, S.ST., Jonnie A.K., S. Suwarto

ABSTRAK

EVALUASI TERHADAP SAMPEL IRADIASI DALAM KESELAMATAN OPERASI RSG-GAS. Telah dilakukan evaluasi terhadap pelaksanaan iradiasi dari berbagai sampel iradiasi dalam kerangka keselamatan operasional reaktor. Meningkatnya permintaan iradiasi senantiasa harus dikendalikan dengan tersedianya analisis keselamatan dan prosedur penanganannya. Sampel dominan yang diiradiasi adalah Telerium, Uranium/FPM, Samarium, dan batu Topaz. Pembatalan terhadap sampel iradiasi sering diakibatkan karena tidak disertai dokumen pelengkap serta waktu yang terlalu mendesak. Sedangkan insiden yang terjadi timbul akibat penanganan wadah tidak optimal. Jenis sampel, berat sampel, lama iradiasi, dan prakiraan aktivitasnya senantiasa dikendalikan oleh Subbidang Keselamatan Operasi - Bidang keselamatan. Peran RSG-GAS beserta fasilitasnya yang digunakan untuk riset teknologi nuklir dan pelayanan iradiasi dalam menunjang kebutuhan kedokteran, pertanian, peternakan, dan komersial lainnya dalam perjalanannya hingga nanti dapat ditingkatkan lagi secara lebih optimal.

Kata Kunci: Iradiasi, sampel, keselamatan operasi

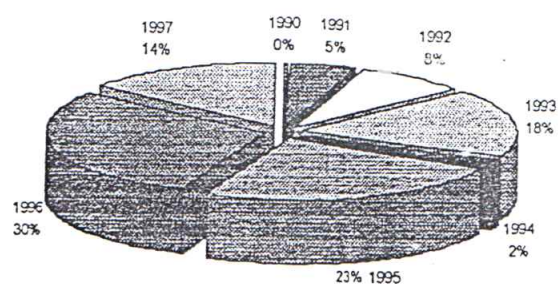
ABSTRACT

EVALUATION TO IRRADIATION OF SAMPLE IN SAFETY OPERATE FOR RSG-GAS. Have done evaluation to irradiation execution from various sample irradiation in framework of safety operational. The increasing request of irradiation ever have to controlled availability of safety analysis and procedure of its handling. Dominant Sample which the irradiation is Tellurium, Uranium/FPM, Samarium, and Topaz. Cancellation to sample of irradiation is often resulted because is not joined by document of complement and also the too urgent time. While incident that happened arise effect of handling place. Type Sample, heavy sample, old of irradiation, and predict its activity is ever controlled by Sub division of Operate Safety - Safety Div. Role of RSG-GAS therewith its facility used to research into nuclear technology and service of irradiation in supporting doctor requirement, agriculture, ranch, and other commercial on the way till wait can be improved again in more optimal.

Keyword: Irradiation, sample, operate of safety

PENDAHULUAN

Tugas dan fungsi yang diemban oleh PRSG adalah mengoperasikan dan merawat reaktor serta melayani permintaan iradiasi. Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) mempunyai beberapa fasilitas iradiasi yang dipergunakan untuk melakukan penelitian, pengujian, dan produksi radioisotop. Permintaan iradiasi umumnya datang dari Pusat-pusat yang ada di Batan. Pemanfaatan RSG-GAS sebagai jasa iradiasi dimulai tahun 1991 hingga sekarang secara kontinu mengalami peningkatan. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 1^[1]. Permintaan iradiasi tersebut, karena keterbatasan informasi dan kendala teknis, sering tidak dapat dipenuhi. Salah satu contoh terbatasnya informasi adalah informasi mengenai sampel yang akan diiradiasi kurang lengkap.



Gambar 1. Prosentase pemakaian jasa iradiasi pada awal pemanfaatan fasilitas iradiasi RSG-GAS

Di dalam tulisan ini akan dibahas permasalahan menyangkut kinerja fasilitas iradiasi, berbagai sampel iradiasi, dan persyaratan iradiasi dalam kerangka keselamatan operasional RSG-GAS. Begitu pula pelayanan iradiasi terhadap berbagai sampel, dasar-dasar pemilihan bahan kapsul iradiasi,

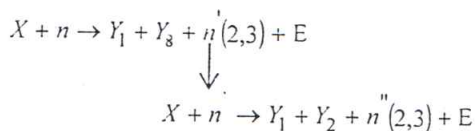
serta pertimbangan aspek neutronik dan aspek termis yang membatasi jumlah sampel.

Diharapkan dengan penyampaian tulisan ini, para pengguna fasilitas RSG-GAS dapat mengefektifkan iradiasi di reaktor sehingga setiap permohonan iradiasi yang disampaikan tidak mengalami hambatan, dapat dijadwalkan sebelumnya, dan dengan demikian kegiatan Litbang Batan dalam memanfaatkan reaktor dapat lebih optimal.

TEORI

Sampel iradiasi adalah bahan yang menjadi sasaran/target radiasi sehingga menjadi bahan radioaktif. Di reaktor nuklir (khususnya di RSG-GAS) terjadi reaksi fisi dan aktivasi. Reaksi fisi yang seterusnya menjadi reaksi berantai terkendali, diantaranya menghasilkan nuklida baru, neutron, dan radiasi foton gamma.

Skema reaksi fisi berantai, digambarkan secara umum sebagai berikut:



Keterangan:

- X : radionuklida (bahan) fisi
 Y : radionuklida hasil fisi
 n, n', n'' : neutron (pertama, kedua, dst.)
 E : energi nuklir

Sedangkan aktivasi dapat diakibatkan karena neutron thermal/epithermal berupa hamburan neutron dan reaksi inti serta aktivasi karena radiasi gamma dengan efek foto listrik, hamburan Compton, dan produksi pasangan. Nuklida yang teraktivasi akan meluruh dengan memancarkan radiasi gamma, alpha, proton, deuteron, dan triton.

Dengan demikian, sampel yang masuk jangkauan neutron atau daerah radiasi primer di

reaktor akan menjadi aktif dan memancarkan radiasi sesuai karakteristiknya (peluruhan). Sehingga iradiasi dapat didefinisikan sebagai proses mengaktifkan suatu sampel sehingga memancarkan radiasi yang dapat dianalisis.

Fasilitas Iradiasi RSG-GAS

Fasilitas-fasilitas iradiasi yang ada di RSG-GAS ditinjau dari posisinya dapat dibagi menjadi tiga yaitu: fasilitas yang terletak di teras reaktor, fasilitas yang terletak di Berilium, dan fasilitas yang terletak di samping teras reaktor. Fasilitas iradiasi yang terletak di teras reaktor biasanya digunakan untuk penelitian elemen bakar reaktor daya yang memerlukan fluks neutron tinggi (*PWR/PHWR loop, MTR loop, PRTF, Cyrano Rig, Chouca Rig*). Fasilitas iradiasi yang terletak di Berilium biasanya digunakan untuk produksi radioisotop dan penelitian aktivasi neutron (*rabbit system, stringer, FLU*, iradiasi bahan seperti Topaz). Fasilitas yang terletak di samping teras reaktor digunakan untuk doping silikon, radiografi neutron, dan penyediaan tabung berkas neutron.

Analisis Termis dan Neutronik

Analisis termis (termohidrolik) terhadap sampel dimaksudkan untuk menghitung perpindahan panas dalam sampel atau dalam kapsul sehingga titik leleh bahkan titik didih sampel secara analisis tidak dilewati. Sedangkan analisis neutronik dimaksudkan agar perubahan reaktivitas akibat masuknya sampel tidak menimbulkan reaktor mengalami superkritis ataupun subkritis.

Misalnya, dalam pemakaian kapsul untuk fasilitas iradiasi. Secara garis besar kriteria penentuan bahan kapsul untuk fasilitas iradiasi harus mempunyai sifat-sifat, diantaranya: serapan neutron rendah, stabil dalam lingkungan radiasi dan suhu tinggi, kekuatan mekanis baik, tahan korosi, dan daya hantar panasnya baik.

Penggunaan kapsul iradiasi sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan eksperimen/ kebutuhan produksi. Pada tabel 1 dapat dilihat beberapa contoh pemakaian kapsul iradiasi.

Tabel 1. Bahan kapsul iradiasi

Nama bahan	Fasilitas iradiasi	Penggunaan	Keutamaan yang dipilih
Polyethylen	Rabbit system	Rabbit	- serapan neutron rendah - tahan iradiasi - tahan suhu sedang
Aluminium	- Rabbit system - MTR loop - PRTF	- pemipaan - wadah cuplikan - kapsul iradiasi	- serapan neutron rendah - perpindahan panas baik - waktu peluruhan pendek
Boron	Kamera neutron	Pengarah neutron	- serapan neutron rendah
Zircalloy	- PRTF - PWR/PHWR loop	Kelongsong elemen bakar uji	- serapan neutron rendah - panas pembentukan sedang - kekuatan mekanik baik

Tabel 1. lanjutan

Nama bahan	Fasilitas iradiasi	Penggunaan	Keutamaan yang dipilih
Baja nirkarat	PWR/PHWR loop	- kapsul iradiasi - struktur penyangga - pemipaan	- serapan neutron rendah - panas pembentukan sedang - kekuatan mekanik baik

Korelasi yang dipakai dalam perhitungan perpindahan panas adalah dengan menggunakan prinsip kesetimbangan termis sebagai berikut:

$$Q_{\text{fisis}} + Q_{\text{gamma}} = m C_p \Delta T$$

- Q_{fisis} : panas pembelahan dari sampel
 Q_{gamma} : panas gamma yang terjadi pada kapsul dan sampel
 m : laju alir pendingin
 C_p : kapasitas panas pendingin pada tekanan tetap
 ΔT : kenaikan suhu pendingin

Dalam perhitungan neutronis atau reaktivitas lebih ($\Delta\rho$) yang ditimbulkan, digunakan pendekatan perhitungan dari *Nuclear reactor theory*, J.R. Lamarsh:

$$\Delta\rho = -\left\{ \Sigma_{ap} \cdot V_p \cdot \phi^2(r_{0}) \right\} / v \cdot \Sigma_f \cdot \phi^2 \cdot V_c$$

- Σ_{ap} :ampang lintang serapan makroskopis
 V_p : volume benda (kapsul iradiasi dan sampel) yang dimasukkan ke teras reaktor
 $\phi^2(r_{0})$: fluks neutron termal di tempat benda berada
 v : faktor perlipatan neutron per pembelahan
 Σ_f : amping lintang pembelahan elemen bakar
 ϕ^2 : fluks neutron termal reaktor
 V_c : volume teras reaktor

Perhitungan termohidrolik dan neutronik sampel iradiasi di PRSG biasanya memanfaatkan program komputer seperti program PARET, GAMSET, DIFFn 2-D Batan FUEL, dan ORIGEN2 untuk menentukan jenis unsur dan aktivitas radiasi yang timbul.

METODOLOGI DALAM PELAKSANAAN IRADIASI

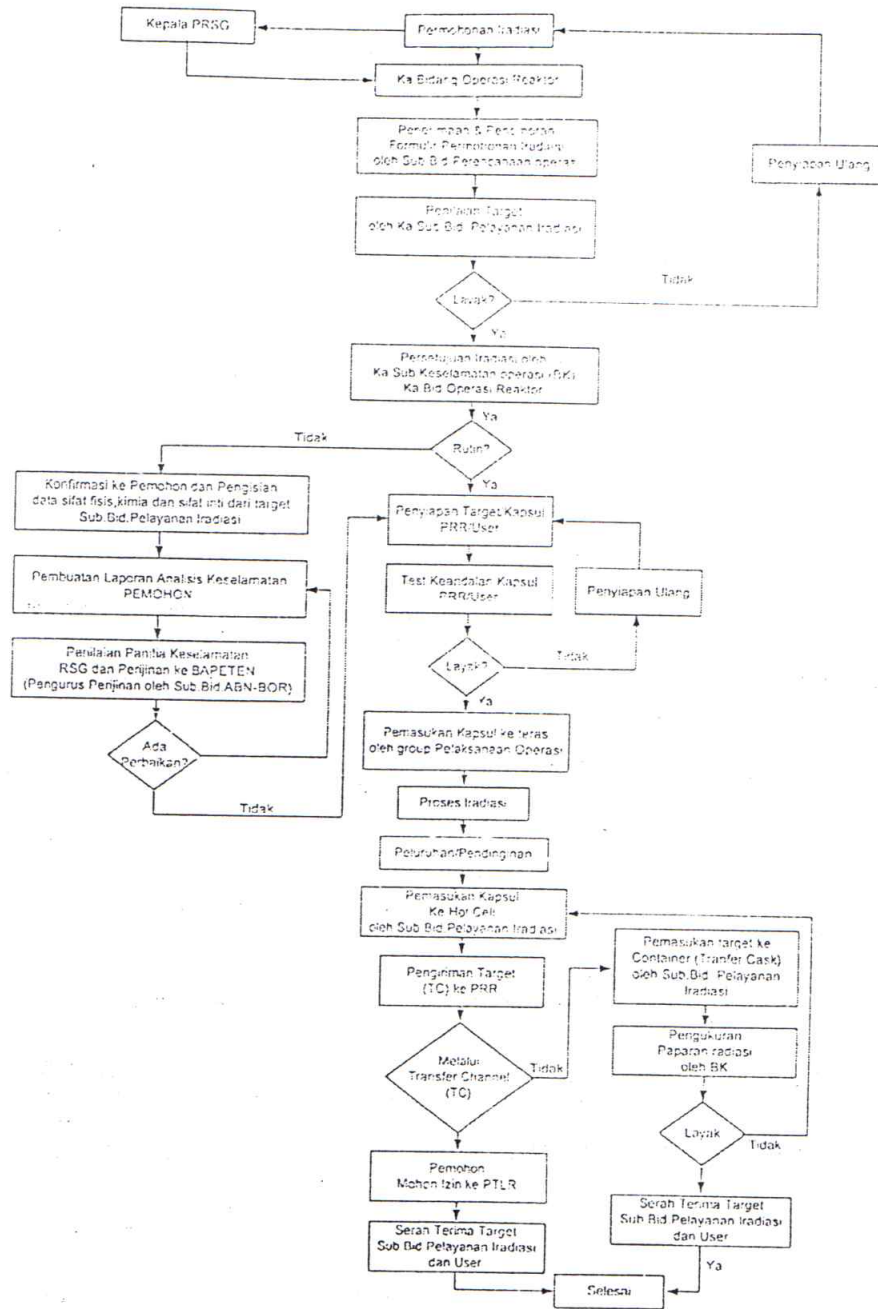
Persyaratan atau peraturan yang harus dipenuhi untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan dalam pelaksanaan iradiasi, adalah:

- Reaktivitas lebih yang ditimbulkan oleh suatu bahan yang akan diiradiasi tidak boleh melebihi

2% untuk seluruh sampel, atau maksimum 0,5% untuk setiap sampel di dalam teras reaktor^[2].

- Harus dilakukan perhitungan kesetimbangan antara pembentukan dan pembuangan panas di dalam sampel selama diiradiasi, terutama bila melakukan iradiasi bahan *fissile* seperti Uranium.
- Harus selalu digunakan kapsul iradiasi atau pembungkus sampel yang sudah teruji kekuatan atau kekedapannya terhadap pengaruh medan radiasi tinggi dan integritas kapsul harus terbukti tetap utuh selama iradiasi.
- Bahan yang mempunyai potensi ledakan pada suhu tinggi tidak boleh diiradiasi di teras reaktor.
- Bahan kimia yang dapat membahayakan struktur reaktor seperti korosi tidak boleh dimasukkan ke kolam reaktor kecuali dengan penanganan khusus dengan kapsul berlapis dan teruji.
- Perlu dibuat sebuah analisis keselamatan sebagai bahan pendukung ijin iradiasi yang menjamin bahwa percobaan tidak akan membahayakan reaktor maupun personil pelaksana.

Dalam mengajukan permohonan iradiasi, pertama sekali yang harus disiapkan oleh pemohon adalah dokumen pelengkap yang berisi tentang keterangan yang berkenaan dengan sampel yang akan diiradiasi. Dokumen yang berisi keterangan tentang sifat-sifat fisis, kimia, mekanik dari sampel, perhitungan tentang reaktivitas, dan perpindahan panas selama diiradiasi. Dokumen ini akan digunakan sebagai bahan pertimbangan layak tidaknya sampel tersebut diiradiasi di teras RSG-GAS. Selanjutnya setelah dokumen sampel dilengkapi, pemohon dapat mengisi form permohonan iradiasi. Pemohon dalam mengajukan permohonan iradiasi dapat mengikuti alur pengajuan dan pelaksanaan iradiasi seperti tertera pada Gambar 2. Berdasarkan dokumen sampel dan form iradiasi, Kepala Bidang Operasi Reaktor dan Subbidang Keselamatan Operasi - BK akan menilai kelayakan iradiasi sampel.



Gambar 2. Diagram alir Permohonan dan Pelaksanaan iradiasi

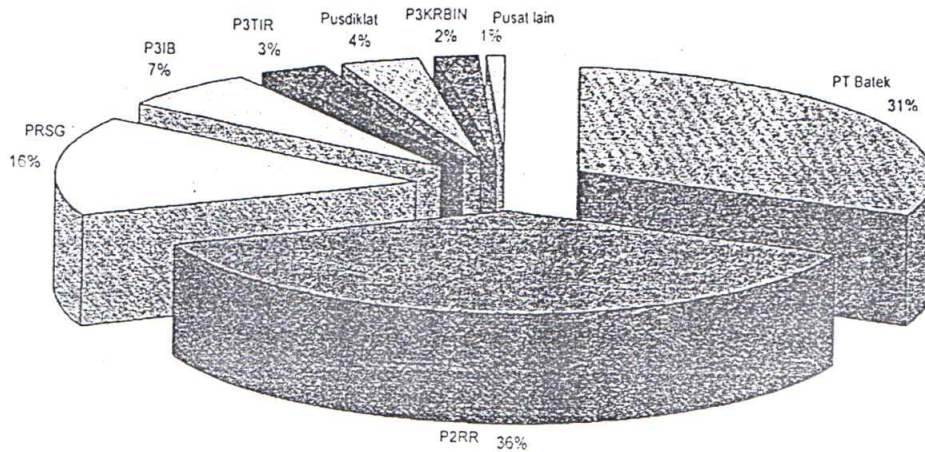
Formulir iradiasi yang harus diisi oleh pemohon terdiri dari 4 rangkap yang akan diberikan kepada: pemohon, Subbidang Pelayanan Iradiasi (BOR), Subbid Pelaksanaan Operasi (BOR), Subbid Pengendalian Daerah Kerja (BK), dan Subbid Keselamatan Operasi (BK)^[3].

Dari uraian di atas maka metodologi dalam makalah ini dimulai dengan tersedianya persyaratan sampel, mengikuti alur pelaksanaan iradiasi, penanganan pasca iradiasi, dan evaluasi manfaat dan

keselamatan di dalam operasi reaktor serta keselamatan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel iradiasi, pengguna, dan dokumen keselamatan yang ditinjau pada makalah ini, dilakukan pada operasi teras XL (40) s/d teras L (50) yaitu sebanyak 11 teras atau antara tahun 2001 s/d tahun 2004. Dari tinjauan diperoleh data yang digambarkan dengan grafik, sebagai berikut:

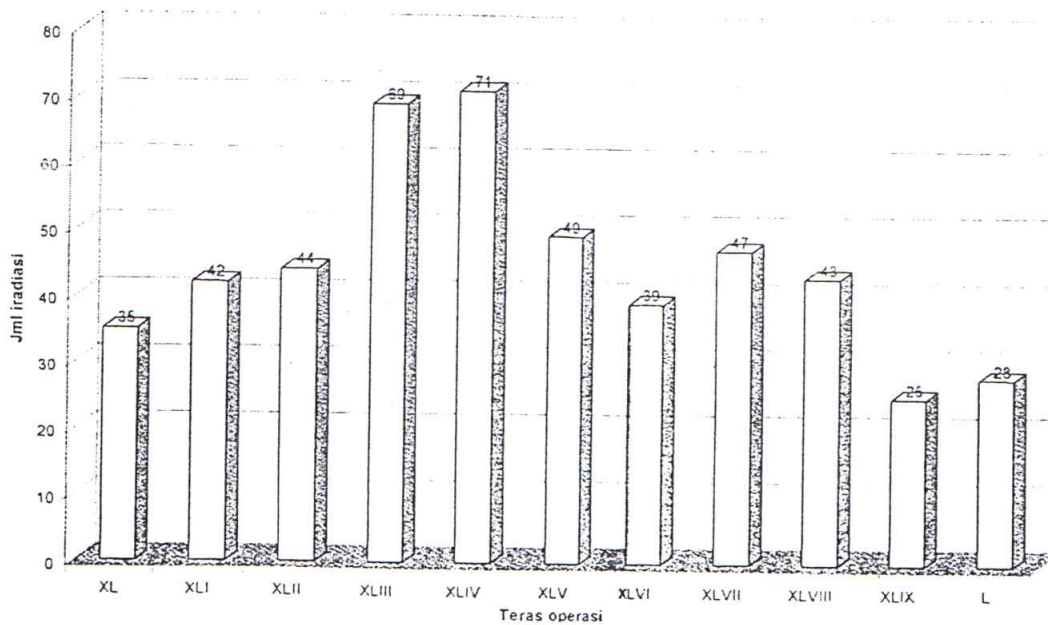


Gambar 2. Grafik Instansi Pengguna Fasilitas Iradiasi RSG-GAS

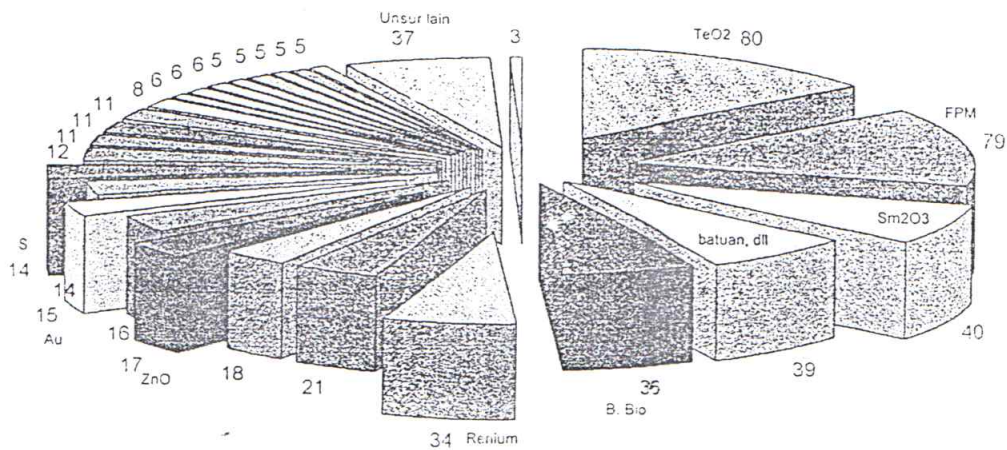
Instansi yang memanfaatkan fasilitas iradiasi RSG-GAS pada tahun 2001 s/d 2004, ditunjukkan dengan Gambar 2. Pusat/instansi pengguna teraktif secara berurut adalah P2RR (PRR), PT Batek, PRSG, P3IB (PTBIN), Pusdiklat, dan P3TIR (PATIR). Sedangkan komposisi pemakai fasilitas iradiasi hingga tahun 1997⁽¹⁾ selain Pusat-pusat di atas di antaranya, yaitu PTN Bandung, PEBN (PTBN), dan PTLR. Maka pemakai fasilitas ini tidak berubah dari tahun ke tahun. Sehingga diperlukan adanya terobosan untuk meningkatkan produk dan kinerja fasilitas ini. Sampel hasil iradiasi ini dimanfaatkan

untuk sumber standar, kedokteran, kosmetik, dan pertanian/peternakan.

Sedangkan dari Gambar 3, tersirat bahwa jumlah sampel yang diiradiasi dalam setiap teras belum merata hal ini masih berdasar permintaan iradiasi yang masuk. Frekuensi atau volume iradiasi terbanyak terjadi pada teras XLIV (44) dan frekuensi iradiasi paling minim pada teras XLIX (49). Walaupun iradiasi terjadi fluktuatif tetapi juga tidak terjadi penurunan dengan asumsi tinjauan pada tahun-tahun berikutnya terus meningkat terutama untuk sampel-sampel tertentu.



Gambar 3. Grafik frekuensi iradiasi setiap siklus operasi pada Teras XL s/d L



Gambar 4. Grafik Kalkulasi Sampel Iradiasi pada Teras Operasi XL s/d L

Sampel iradiasi yang masuk teras dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Sampel yang paling dominan saat itu adalah TeO_2 , MoO_3 dan FPM, Sm_2O_3 , ReO_3 , ZnO , Au, dan S. Sampel-sampel ini secara konsisten diiradiasi di teras reaktor. Bahan batuan/tanah dan bahan biologis serta unsur-unsur lain juga memiliki porsi yang besar dan umumnya diiradiasi melalui *rabbit system* atau di luar teras. Sedangkan sampel yang akan menjadi produk baru RSG-GAS adalah batu Topaz.

Dari tinjauan terhadap dokumen laporan analisis keselamatan (LAK) yang terdokumentasi di Subbidang Keselamatan Operasi, diperoleh LAK sampel sebanyak 10 dokumen. LAK yang telah masuk tersebut adalah:

1. LAK I-125. Kesimpulan fasilitas produksi I-125 tidak mempengaruhi keselamatan operasi reaktor.
2. LAK TeO_2 dan S; massa maks. 100 g dan 40 g, suhu sampel 156°C , 164°C , perubahan reaktivitas $-0,0066\% \Delta k/k$ dan $+0,0008\% \Delta k/k$.
3. LAK FPM; U-235 dengan pengkayaan 93,5%, massa maks. 3 g, suhu tertinggi kelongsong $70,3^\circ\text{C}$, onset of flow instability 18,8 sedangkan minimal OFI 1,48. Reaktivitas gangguan yaitu $0,1645\% \Delta k/k$.
4. LAK Ar-40; suhu gelas kwarsa 689°C , titik leleh kwarsa 1425°C . Reaktivitas akibat Ar-40 kurang dari $0,5\% \Delta k/k$.
5. LAK Dy_2O_3 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ dan WO_3 ; titik didih 2340°C , 769°C , 3410°C , dan suhu dipusat sampel: 358°C , 694°C , 169°C . Reaktivitas ketiganya dari 0,11 g adalah $0,028\% \Delta k/k$.
6. LAK Sm_2O_3 , ReO_3 , dan MoO_3 ; titik leleh masing-masing: 1072°C , 297°C , 759°C . Sedangkan suhu dipusat sampel; 264°C , 128°C , 103°C . Dengan perubahan reaktivitas dari berat total 2,511 g yaitu $0,021\% \Delta k/k$.
7. LAK para-dibromo Benzene ($1,4\text{-C}_6\text{H}_4\text{Br}_2$), suhu dipusat kapsul: $212,5^\circ\text{C}$ sedangkan titik

leleh hingga 89°C , titik didih 219°C . Perubahan reaktivitas diabaikan karena tampang lintang Br relatif kecil.

8. LAK Ir; suhu 150°C (titik leleh 2454°C), gangguan terjadi dari 16 g sebesar $-0,46\% \Delta k/k$ dan harus ditambah dengan 2 kapsul FPM masing-masing 3 g.
9. LAK topaz ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{FOH})_3$); di CIP atau IP selama maks 8 jam. Hasil program difusi neutron 2-D batan-FUEL, gangguan dari topaz - $0,07\% \Delta k/k$, panas gamma topaz dengan program GAMSET: $387,64^\circ\text{C}$ (titik leleh topaz: 1425°C).
10. LAK KBr; suhu di pusat $215,1^\circ\text{C}$, titik leleh 891°C . Kesimpulan reaktivitas dapat diabaikan.

Sampel iradiasi yang mesti mendapat perhatian dalam keselamatan operasi ialah yang secara analisis memberikan reaktivitas positif seperti FPM, Sulfur, Argon, Disprosium, dan Renium serta reaktivitas negatif seperti Telerium, Iridium, dan Topaz. Persyaratan sampel yang boleh diiradiasi, secara umum adalah tidak boleh material yang dapat meledak dan perubahan reaktivitas sampel tidak lebih dari $\pm 0,5\% \Delta k/k$. Kejadian meningkatnya paparan radiasi (hingga 0,86 rem) di teras yang pernah dialami (tahun 1998) diakibatkan adanya kebocoran kapsul/wadah iradiasi sehingga kini dilakukan *weakness* sebelum sampel diiradiasi terutama pada sampel FPM.

Reaktivitas akibat iradiasi yang berlebih (supercritis) ataupun subkritis mengakibatkan reaktor *scram*. Dengan *scram*, maka iradiasi dan operasi reaktor secara teknis selamat dan terkendali yang artinya keselamatan operasi RSG-GAS bergantung pada optimalnya kinerja dari sarana atau sistem proteksi reaktor itu sendiri. Namun demikian, iradiasi terhadap sampel harus mengikuti alur dan prosedur teknis sehingga keselamatan operasi dan keselamatan lingkungan tetap terjaga.

Dari tinjauan mengenai LAK, sampel baru yang akan diiradiasi harus memiliki analisis keselamatannya sebagai dokumen acuan yang telah mendapat pengesahan Panitia Keselamatan RSG atau bahkan Bapeten. Dari dokumen tersebut karakteristik sampel terutama gangguan reaktivitas, panas gamma serta sifat-sifat tidak eksplosif, tidak korosif, dan tidak beracun dapat diketahui dan dinilai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Iradiasi Sampel di fasilitas iradiasi RSG-GAS semakin meningkat dalam peran pemanfaatan Iptek Batan. Sampel dominan yang diiradiasi adalah TeO_2 , FPM, dan Topaz. Sampel-sampel dominan ini telah dianalisis segi keselamatannya sehingga pengendalian keselamatan operasi dan keselamatan radiasi dari proses iradiasi ini dijalankan sesuai prosedur dan LAKnya.

RSG-GAS beserta fasilitas-fasilitasnya, dapat digunakan untuk riset yang menunjang teknologi nuklir dan pelayanan iradiasi untuk kebutuhan kedokteran, pertanian, peternakan, dan komersial

lainnya sehingga kegiatan Litbang Batan dalam memanfaatkan reaktor dapat ditingkatkan lagi secara lebih optimal.

Saran untuk kelancaran dan keselamatan sampel iradiasi ialah pertama: permintaan iradiasi diajukan dalam waktu yang cukup, kedua: dilakukan uji dan *weakness* terhadap wadah (kapsul) sehingga tidak terjadi pembatalan karena waktu dan wadah, dan ketiga penanganan pasca iradiasi telah direncanakan.

PUSTAKA

1. Dedi Sunaryadi, Pelaksanaan Iradiasi di RSG-GAS serta Permasalahannya, Diktat, PRSG, 1997.
2. Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS rev. 9. PRSG, 2006.
3. Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS Teras XL s/d L, No. TRR.OR.07.02.41.01 s/d TRR.OR.17.02.41.04, P2TRR, tahun 2003.
4. Prosedur Iradiasi, BOR, No. RSG.OR.02.02.41.06